

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ



Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

«Роботтық техника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

Шайкемелов Ерлібек Қазыбекұлы

«Науқастарды жедел оңалтуға арналған медициналық экзоскелет құрастыру»

**ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС**

5B071600 – Аспап жасау мамандығы

Алматы 2020



SATBAYEV  
UNIVERSITY

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

«Роботтық техника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

**ҚОРҒАУҒА РҰҚСАТ**

РТжАТҚ кафедра меңгерушісі

техника ғылым кандидаты



Қ.А. Ожикенов

«23» мамыр 2020 ж.

## ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Науқастарды жедел оңалтуға арналған медициналық экзоскелет құрастыру»

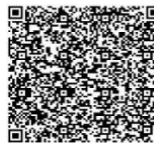
5B071600 – Аспап жасау мамандығы бойынша

Орындады

Шайкемелов Ерлібек

Ғылыми жетекшісі

тех.ғылым кандидаты, профессор



Ожикенов Қ.А.

«23» мамыр 2020 ж.

Алматы 2020



SATBAYEV  
UNIVERSITY

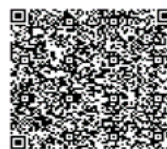
Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

«Роботтытехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

5B071600 – Аспап жасау

**БЕКІТЕМІН**

РТжАТҚ кафедра меңгерушісі  
техника ғылым кандидаты



Қ.А. Ожикенов  
«23» қаңтар 2020 ж.

### ТАПСЫРМА

#### дипломдық жұмысты орындауға

Білім алушыға Шайкемелов Ерлібек Қазыбекұлы

Тақырыбы: Науқастарды жедел оңалтуға арналған медициналық экзоскелет құрастыру

Университет ректорының бұйрығымен бекітілген №726-б «27» қаңтар 2020 ж.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «15» мамыр 2020 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы мәліметтері: науқастарды жедел оңалтуға экзоскелет құрастыру болып табылады, экзоскелет басқару жүйесін зерттеу.

Дипломдық жұмыста әзірленуге жататын мәселелер тізімі:

- а) Мәселені қоюды негіздеу
- б) Экзоскелет басқару жүйесін зерттеу, түсіну
- в) Аппараттық бөлікті құрастыру

Графикалық материалдың тізбегі (міндетті сызбаларды дәл көрсете отырып):  
10 слайд

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер: 20 әдебиеттер тізімі


## Дипломдық жобаны дайындау

### КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, әзірленетін сұрақтар тізбесі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескертпелер
Теориялық бөлім	22.01 – 15.02.2020 ж.	Орындалды
Есептеу бөлімі	22.01 – 15.02.2020 ж.	Орындалды
Бағдарламалық бөлім	15.03 – 20.04.2020 ж.	Орындалды
Зерттеу бөлімі	15.03 – 20.04.2020 ж.	Орындалды
Қорытынды бөлім	15.03 – 20.04.2020 ж.	Орындалды

Аяқталған дипломдық жобаға және оған қытысты бөлімдерінің кеңесшілері мен қалып бақылаушының

### ҚОЛТАҢБАЛАРЫ

Бөлімдердің атауы	Ғылыми жетекшілер, кеңесшілер, (аты-жөні, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қол
Қалып бақылаушы	Е.А.Тулешов, техника ғылым кандидаты, ассистент-профессор	25.05.2020 ж.	



Ғылыми жетекшісі  Ожикенов Қ.А.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы



Шайкемелов Е.К.

Күні

«25» мамыр 2020 ж.

## АҢДАТПА

Бұл дипломдық жұмыс кіріспеден, теориялық және техникалық бөлімдерден, сондай-ақ қорытынды мен пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Дипломдық жұмыстың көлемі 33 бет, 2 кесте, 13 сурет.

Зерттеу объектісі болып жоғары бөлік экзоскелеттері болып табылады, оның мақсаты қысқа мерзімде емделушіні оңалту болып табылады. Зерттеу пәні болып қазіргі жоғары бөлік экзоскелеттері, оларды басқару әдістері және экзоскелет жасаудағы қиындықтары табылады. Жұмыстың мақсаты жедел оңалту үшін қол экзоскелетін құрастыру болып табылады. Оңалту үшін қол экзоскелетінің функционалдық сұлбасы мен кинематикалық схемасы келтірілген. Экзоскелетті басқарудың алгоритмдері берілген.

## АННОТАЦИЯ

Данная дипломная работа состоит из введения, теоретической и технической частей, а также заключения и списка использованной литературы. Объем дипломной работы составляет 33 страниц, включает 2 таблиц, 13 иллюстрации.

Объектом исследования является верхняя часть экзоскелета, целью которой является реабилитация пациента в краткосрочной перспективе. Предметом исследования являются современные верхние части экзоскелетов, методы их управления и трудности в изготовлении экзоскелетов. Целью работы является создание ручного экзоскелета для ускоренной реабилитации. Дана функциональная схема и кинематическая схема экзоскелета кисти для реабилитации. Приведены алгоритмы управления экзоскелетом.

## ABSTRACT

This thesis consists of an introduction, theoretical and technical parts, as well as the conclusion and list of references. The volume of the thesis is 33 pages, includes 2 tables, 13 illustrations.

The object of the study is the upper part of the exoskeleton, the purpose of which is the rehabilitation of the patient in the short term. The subject of research is the modern upper parts of exoskeletons, methods for their control and difficulties in the manufacture of exoskeletons. The aim of the work is to create a manual exoskeleton for accelerated rehabilitation. A functional diagram and a kinematic diagram of a brush exoskeleton for rehabilitation are given. Exoskeleton control algorithms are given.

## МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1 Жоғарғы бөлік экзоскелеттерінің қазіргі жағдайы	10
1.1 Қол анатомиясы	10
1.2 Экзоскелеттерге шолу.	11
1.2.1 Жоғарғы бөлік экзоскелеттері	11
1.2.2 Медициналық оңалтуға арналған экзоскелеттер	11
1.2.3 Параллель басқарылатын иық экзоскелеті	12
1.2.4 Жартылай активті қолды экзоскелет	13
1.2.5 Иық экзоскелеті	13
1.2.6 Активті шынтақ ортезі	14
1.2.7 Білек экзоскелеті	15
1.2.8 Инсульт алған емделушілер үшін қол экзоскелеті	15
2 Экзоскелетті басқару стратегиясы	17
2.1 Көмекші режим	17
2.2 Тузету режимі	18
2.3 Белсендіру және энергия берілісі	18
2.4 Жоғарғы бөлік экзоскелеттер дамуындағы кедергі болатын мәселелер	19
2.4.1 Кинематикалық үйлесімділігі	19
2.4.2 Қолайсыздық және орын ауыстыру	20
2.4.3 Қабылдау және бағалау	20
3 Медициналық экзоскелет құрастыру	21
3.1 Қимыл жүйесінің бұзылыстарын қалпына келтірудің негіздері	21
3.2 Қалпына келтіру жүйелері	22
3.3 Ортез-экзоскелет технологиясының артықшылықтары	22
3.4 Экзоскелеттік жүйені жобалаудағы негізгі міндеттер	23
3.5 Экзоскелет құрылғыны басқару режимдері.	26
Қорытынды	
Пайдаланған әдебиеттер тізімі	
Қосымша А	



## Кіріспе

Адамның жоғарғы бөліктерінің экзоскелетінің заманауи дамуы әртүрлі бағытта жүреді және нақты шешілетін мәселеге тәуелді болады. Бұл құрылғы адам-машина жүйелеріне тікелей қатысты және адамның функционалдығын кеңейту үшін қолданылады. Оңалтуға арналған экзоскелеттің мақсаты адам қолының физиологиялық функцияларын қалпына келтіру болып табылады. Бұл құрылғылар қандай да бір себептермен қозғалыс функциясын жоғалтқан адамның қолын оңалту үшін берілген бағдарлама бойынша қолдың қозғалуына көмектеседі немесе ауырлық күшінің орнын толтыра отырып, салданған адам бөлігі түрлі объектілерді қозғалтуға мүмкіндік береді. Экзоскелеттердің басқа түрін қарастырсақ, олар күш жұмысына арналған құрылғыларды қамтиды, яғни құрылым элементтеріне жүру немесе көтеру кезінде жүктемені бөлуді қамтамасыз ету мағынасында жұмыс атқарады. Экзоскелеттік құрылғылардың осы түрлерін қолдану төтенше жағдайлар кезінде, сондай-ақ ауыр жүктемелердің қозғалысымен байланысты тапсырмаларды орындау кезінде маңызды.

Осылайша, экзоскелетті құрылғыны, сондай-ақ адамның және робототехникалық жүйенің өзара іс-қимылын ескеретін басқару жүйесін құру өзекті болып отыр. Адам биопотенциалдары қазіргі уақытқа дейін робототехникада кең зерттеулер жүргізу объектісі болып табылған жоқ. Сонымен қатар, экзоскелетті құрылғыларды басқару процестеріне адамның бұлшық ет топтарының белсенділігі туралы ақпаратты алу және өңдеу әдістері мен алгоритмдерін енгізу, адам қолының қозғалысы мен экзоскелет буынының арасындағы кідіріс уақытын қысқартуға байланысты дәстүрлі әдістердің алдында бірқатар артықшылықтарға ие. Адам биопотенциалдары туралы деректерді пайдаланумен қатар экзоскелетті басқару алгоритмдерін әзірлеу "оператор-экзоскелет" адам-машина жүйесінің функционалдық мүмкіндіктерін кеңейтудің алғышарты болып табылады.

Келешекте біздің мақсатымыз физиологиялық деректерді жинау мен өңдеуден тұратын толыққанды үй оңалту жүйесін әзірлеу болып табылады. Экзоскелет жеңіл және ыңғайлы болуы тиіс, бұл ретте ол иық қолдарын, сондай-ақ емделуші денесінің жоғарғы бөлігін жылжыту үшін жеткілікті күшке ие болуы тиіс. Физиологиялық деректерді пайдалана отырып, емделушінің қозғалыстағы ниетін болжауға болады, демек, субъект және оңалту құрылғысы арасындағы өзара әрекеттесуді жақсартуға болады. Жүйе емделушіні оңалту кезеңінде дәрігерді қолдауға арналған. Жүйені виртуалды ортада қолданған кезде, емделуші дәрігер қарауына жатпайтын тапсырмаларды әзірлеп, өзгерте алады, сонымен қатар оңалту барысын ЭМГ сигналдарының физиологиялық мәліметтерін қолдана отырып бақылауға болады.

# 1 Жоғарғы бөлік экзоскелеттерінің қазіргі жағдайы

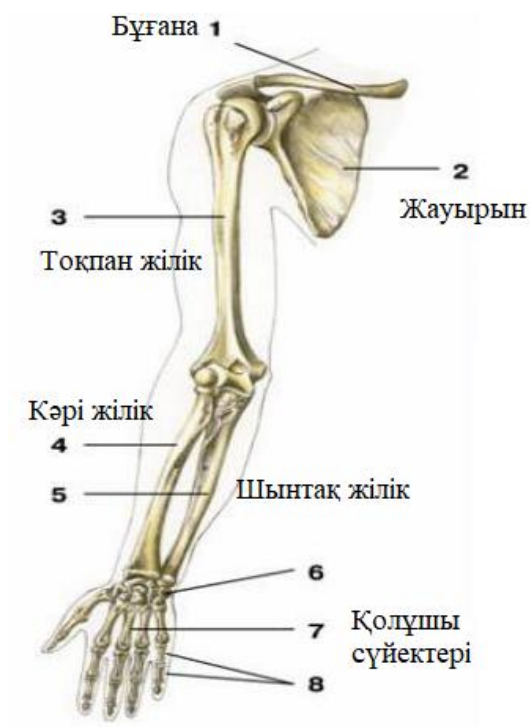
## 1.1 Қол анатомиясы

Жоғарғы және төменгі бөліктерді роботтық оңалту қазіргі уақытта дамып келе жатқан сала болып табылады және де ол дәрігерлердің мойындауына жоғарғы қарқынмен ие болуда. Адамның функциясын қалпына келтіру үшін қарқынды және ерте қалпына келтіру жаттығулары ұсынылады. Осы мақсатта дәрігерлерді күнделікті жұмысында қолдай алатын, сонымен қатар бақылау тәсілдеріне қолдау көрсететін көптеген жүйелер жасалды және олар қазіргі заманғы зерттеулердің тақырыбына айналууда. Бұдан басқа, әр түрлі жүйелердегі клиникалық зерттеулер роботты терапияның пайдалы болу мүмкін екендігін көрсетеді және дәстүрлі терапиямен салыстырғанда айтарлықтай кемшіліктер жоқ.

Экзоскелеттің мақсаты - адамның тірек-қимыл аппаратының кинематикасы мен динамикасын қалпына келтіру, яғни, қолданыстағы механизмдермен және жүргізу режимімен қиындық туғызатын аяқ-қол қозғалысын қолдау. Күрделі анатомиялық құрылыстың салдарынан экзоскелеттерді құрастыруға көмектесетін адам қолының биомеханика саласында дәл бірыңғай кинематикалық моделі жоқ. Осылайша, экзоскелетті жобалау үшін адамның аяқ-қолының анатомиясын талдау қажет. Адамның жоғарғы жағы 1.1 суретте көрсетілгендей күрделі қаңқалық құрылымнан тұрады, оның құрамына иық, шынтақ комплексі, білек буыны және саусақтар кіреді. Иық төрт буыннан тұрады, ал ең бастысы - гленогумеральды буын. Гленогумеральды буын әдетте сфералық буын деп аталады, сондықтан көптеген зерттеулер бостандықтың үш дәрежесін модельдеу үшін гленогумеральды буынды ғана қарастыруды. Дегенмен, гленогумеральды буында жылдам айналу орталығы бар, ол адамның жоғарғы жақ бөліктерінің қозғалысымен бірге өзгереді. Осылайша, экзоскелеттің иық механизмін моделдеу кезінде динамикалық айналу орталығының әсерін ескеру қажет.

Шынтақ буыны - бұл білекті иілуге және жазылуға көмектесетін екі негізгі бөліктен тұратын синовиальды күрделі буын. Әдебиетте табылған экзоскелеттердің көпшілігі иілу мен жазылу үшін бір ғана еркіндік деңгейімен шынтақ буындарын құрастырды.

Білек-білек жіліншігін қолмен қосатын буын. Ол суретте көрсетілген буынды нығайту үшін бірнеше жұмсақ тіндері бар сегіз қолбасы сүйегінен тұрады. Білектің буыны қозғалыстың екі еркіндік дәрежесіне ие: бәлек иілу-жазылу және шынтақ-радиалды ауытқу. Білектің қозғалысы жылдам айналу орталығының айналасында жасалады. Білезік қозғалысы айналу орталығының жанында ескере отырып, бірнеше экзоскелет құрылымдары білезік буынын қолдау үшін әзірленген.



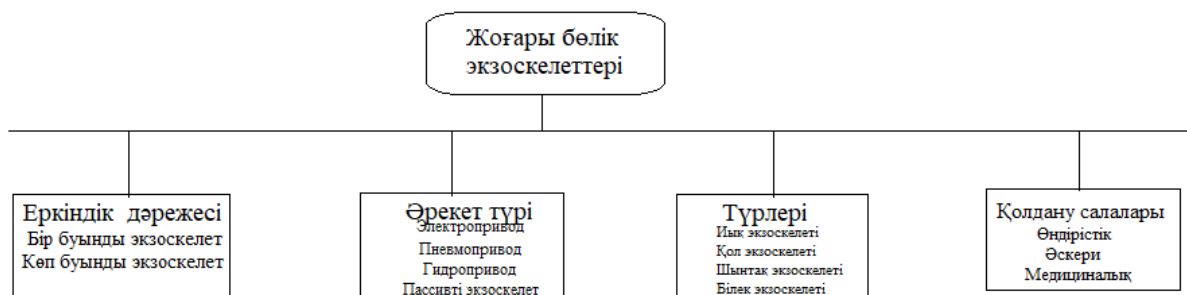
1.1 сурет - Қол анатомиясы

## 1.2 Экзоскелеттерге шолу.

### 1.2.1 Жоғарғы бөлік экзоскелеттері

Бұл бөлік экзоскелеттері адам қолының бірнеше жеріне бекіту арқылы жоғарғы бөлікпен параллельді қатар жұмыс істеуге арналған құрылғы болып табылады. 1.2-суретте еркіндік дәрежесіне, әрекет ету түріне, тірек буындарына және қолдану салаларына байланысты жоғарғы бөлік экзоскелеттерінің жалпы жіктемесі көрсетілген.

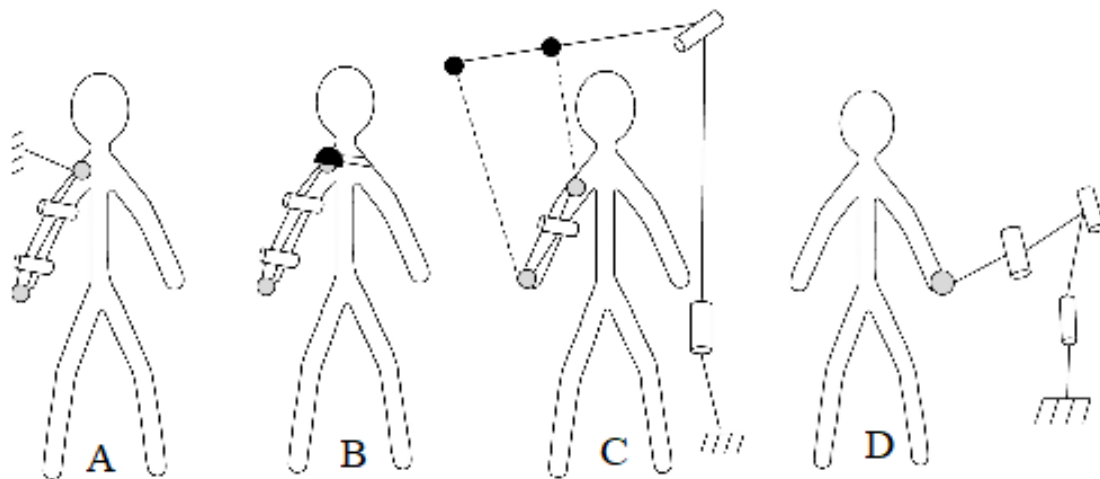
Алайда, бұл түрлерді, негізінен, қозғалысты жақсартатын экзоскелеттер және медициналық оңалтуға арналған экзоскелет тәрізді екі негізгі санатқа жіктеу керек деген ойлаймын.



1.2 сурет - Жоғарғы бөлік экзоскелеттерінің классификациясы

### 1.2.2 Медициналық оңалтуға арналған экзоскелеттер

Жоғарғы бөлік экзоскелеттерінің бұл түрі инсульттан, бүйірлік амиотрофиялық склероздан немесе басқа да физикалық немесе когнитивті бұзылыстардан зардап шегетін физикалық мүмкіндіктері шектеулі емделушілерді оңалту үшін пайдаланылады. 1.3-суретте қазіргі кезде жиі қолданылатын қолды сауықтыру жүйелерінің жалпы түрлері көрсетілген. Көп жағдайда бұл жүйелер бекітілген базамен жабдықталған, сондықтан қолдану аясы шектеулі болып табылады.

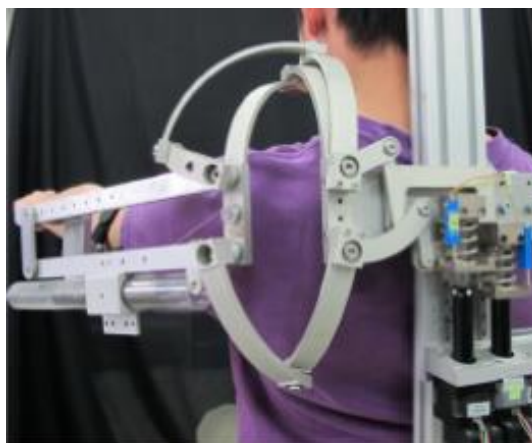


1.3 сурет - Жоғарғы бөлік экзоскелеттерінің механикалық категориялары. А- Бекітілген негізі бар жартылай экзоскелет, В – Активті экзоскелет, С – Желілік экзоскелет, D - Соңғы эффектор негізіндегі экзоскелет

Сонымен қатар, бұл құрылғылар шаршау деңгейіне және жаттығу дағдыларына қарамастан терапияны ұзақ уақытқа қамтамасыз ету үшін де қолданылады. Мысалы, Amendo [1], 5 еркіндік дәрежесі бар роботты экзоскелет [2], ALEx және қолдың динамикалық тірегі [3] қазірдің өзінде дамыған және нарықта сатылымға шығарылған. Бұл экзоскелеттер үшін үйлесімді әрекет ету және оңтайлы басқару алгоритмін таңдау басты мәселелер болып табылады. Осы технологиядағы соңғы оқиғалар келесі бөлімде сипатталған.

### 1.2.3 Параллель басқарылатын иық экзоскелеті

Бұл құрылғы екі сфералық механизмнен, екі жылжымалы қосиінді механизмнен және гравитациялық теңгеруден тұрады. (сурет 1.4) Жетектер әрқашан бір-бірінің қасында болатындай етіп жасалған. Осы әдіс инерция қасиеттерін ғана емес, сонымен қатар жинақтылығы мен салмағын да азайтады. Пассивті буындар қосылған адаптивті механизмі, пайдаланушының ауыспалы физиологиялық параметрлері жағдайында экзоскелеттің қалыпты жұмыс істеуі үшін енгізілген. Бұдан әрі серпімді жетектердің сызықтық қатары, экзоскелет күшінің нақты бақылауын алу үшін пайдаланылды. Экзоскелет бекітілген платформада қолданғандықтан, қолданы аясы шектеулі болып табылады. [4]



1.4 сурет - Параллель басқарылатын иық экзоскелеті

#### 1.2.4 Жартылай активті қолды экзоскелет

Құрылғы қолданушыға әртүрлі нысандарды басқаруға қолдау көрсете алатын жартылай жетегі бар қол үшін бейімделетін экзоскелет болып табылады. Саусақтардың бөліктеріне күштің қалыпты ауысуына мүмкіндік беру арқылы құрылғыда ұстау тапсырмалары жақсарады. Тангенциалды күштердің жетіспеушілігі құрылғыны пайдаланушының саусағына оңай және ыңғайлы етіп бекітуге мүмкіндік береді. Жартылай жетек саусақтар бөліктерін басқарып, нысандарды түсіру үшін құрылғыны автоматты түрде реттейді. Бағалау үшін құрылғыдағы қосымша потенциометрді қолдану арқылы жартылай операцияның кемшіліктерін жоюға болады.[5]

#### 1.2.5 Иық экзоскелеті

Бұл иыққа арналған экзоскелет үш еркіндік дәрежесі бар сфералық параллельді механизмнен (СПМ) және екі еркіндік дәрежесі бар пассивті сырғанау интерфейсінен тұрады (сурет 1.5). СПМ үш параллель сызықты жетектен тұрып, үш еркіндік дәрежесі бар топсалы тартым көмегімен иық қосылысымен біріктірілген. Сонымен қатар, иық буыны адамның иығына аудармалы жылжымалы және айналмалы қозғалысты қолдайтын пассивті жылжымалы интерфейс арқылы қосылады. Жылжымалы интерфейс жүйенің ұтқырлығын арттырады және механикалық кедергілерден сақтап, пайдаланушыны қолданған кезде, буындардың жылжуын болдырмайды.[6]



1.5 сурет - Иық экзоскелеті

1 кесте – Нарықта қол жетімді жоғарғы бөлік экзоскелеттері

Компания	Өнімнің атауы	Қолданылуы	Анықтама
FOCAL meditech	Dynamic arm support	Оңалту	Meditech dynamic
Myomo	MyoPro Orthosis	Терапия	<a href="http://www.myomo.com">www.myomo.com</a>
Rehab-Robotics	Hand of hope	Оңалту	<a href="http://www.rehabrobotics.com/">www.rehabrobotics.com/</a>
REHA Technology	Armotion	Терапия	<a href="https://www.rehatechnology.com/">https://www.rehatechnology.com/</a>
Tyromotion	AMENDEO Hand	Терапия	<a href="http://tyromotion.com/en/">tyromotion.com/en/</a>
GOBIO	Ergosquelettes	Көмек	<a href="http://www.gobiorobot.com">www.gobiorobot.com</a>
Ekso Bionics	EksoVest	Пассивті көмек	<a href="https://eksobionics.com/">https://eksobionics.com/</a>
SARCO	Guardian XO	Көмек	<a href="http://www.sarcos.com/products">www.sarcos.com/products</a>

### 1.2.6 Активті шынтак ортезі

Активті ортез тензометрдің көмегімен пайдаланушының қозғалысын анықтайды және бұл өлшемді ортездің бір бөлігін қозғалысқа әкелетін жетекті басқару үшін қолданады (1.6 сурет). Пайдаланушы белсенділігінің деңгейі жаттығулар алдындағы мөлшерлеу процедурасын қолдану арқылы алынған еркін қол өлшеуін білдіреді. Басқару модулі физиотерапияны еліктейтін бірнеше жаттығулар түрлерін ұсынады. Құрылғы бірқатар науқастарды тестілеуден өткізілді, бұл шынтак буынының қозғалыс ауқымын кеңейтуге әкелді.[7]



1.6 сурет - Активті шынтак ортезі

### 1.2.7 Білек экзоскелеті

Аталған құрылғы білек жаттығуын қолдайтын еркіндіктің бір дәрежесі бар экзоскелет түрі болып табылады. Бұл экзоскелет «керек кезде көмек» қағидасына сәйкес жұмыс істеп, қозғалтқыш белсенділігін арттырады, бірақ оны алмастыра алмайды. Электромиографияға негізделген қуат пен бақылауды біріктіре отырып, бұл экзоскелет инсульт алған адамдар үшін өте ыңғайлы. Инсульт алған науқастар айқын қозғалыстар жасай алмауы мүмкін, бірақ олар әлі де әлсіз бұлшықеттің белсенділігін тудыруы мүмкін, оны атап кеткен беттік электромиография көмегімен өлшеуге болады. Жаттығу құрылғысының негізгі мақсаты - білектің бұлшықеттерінің белсенділігін жоғарылату, сол арқылы сал болған қолды қалпына келтіру болып табылады.[8]

### 1.2.8 Инсульт алған емделушілер үшін қол экзоскелеті

Бұл құрылғыда қолдың қозғалысына қажетті бұлшықет күшін бағалау үшін ЭМГ сигналдары пайдаланылды, ал дамыған мехатрондық жүйе адамның ниетін анықтайды. Орнатылған контроллерде және бес сервоқозғалтқыштарда роботталған жүйе нақты уақыт режимінде әрбір саусақтың үш еркіндік дәрежесін басқаруға қабілетті. Инсульттан кейінгі субъектілермен тәжірибелік тесттер әзірленген қол экзоскелетінің архитектурасы саусақтардың қозғалу диапазонына және ең алдымен қолдардың кейбір қарапайым міндеттерді орындау қабілетіне оң әсер ететінін көрсетті.[9]

Бұл экзоскелеттерді зерттеу кезінде келесі мәселелер анықталды:

- Экзоскелет жүйесінің бөліктері адамның қолының құрылымын қайталауы тиіс.
- Құрылым жеңіл және берік болуы керек.
- Экзоскелет қауіпсіз материалдардан жасалуы тиіс.

- Адамның дене құрылысына сәйкес экзоскелет жүйесі бөліктерін ауыстыру мүмкіндігі болуы тиіс.
- Жаппай тұтыну үшін бағасы арзан болуы керек.
- Қорек көздерінен тәуелсіз болуы тиіс.
- Жоғарғы бөлік экзоскелетінде өмірге таныс қимыл актілерін орындау үшін белгілі бір қозғалыстар болуы керек.



## 2 Экзоскелетті басқару стратегиясы

2-кестеде көрсетілгендей, экзоскелет құрылғыларды басқару стратегиясы үш бөлікке бөлінген. Олар көмекші режим, түзету және резистивті бақылау. Көмекші режим зақымдалған бөлік салмағын қолдап және тапсырманы орындау үшін күш беретіндігін білдіреді. Егер пациент күш жұмсамаса, тапсырма экзоскелетпен қамтамасыз етілген деңгейге байланысты орындалуы мүмкін. Түзету режимі пациент қате қимыл жасаған кезде ғана әрекет ететін қалпына келтіру мақсатын білдіреді. Одан кейін бұл режим емделуші зақымдалған бөлікпен орындауы тиіс нақты қозғалысты орындауға мәжбүр етеді. Бұл, негізінен, олардың оқуға және қозғалыс қателерін түзету қабілетін жақсарту үшін пациент үшін міндеттің күрделілігін арттырады. Көмекші режим пациентке тапсырманы орындауға көмектеседі, ал түзету мұны жасамайды; пациент қате жасағанда ғана түзетеді. Негізінен, оңалту процесі бір стратегияға бағытталмаған; оның орнына ол осы стратегиялардың комбинациясына бағытталған. Экзоскелеттің көптеген түрлері көмекші және түзету контроллерлердің комбинациясын қолданады. Резистивті бақылау жаттығуларда треморды басу үшін экзоскелеттерде пайдаланылуы мүмкін.

2 кесте – Экзоскелетті басқару стратегиялары

Режимдер	Көмекші режим	Түзету режимі	Резистивті
1	Пассивті бақылау 1.Пассивті траекторияны бақылау 2.Пассивті шағылыстыру	Туннелдеу	Экзоскелетті дамытуға бақылау жоқ
2	Ішінара көмекші режим		

### 2.1 Көмекші режим

Басқарудың көмекші режимдерінің екі түрі бар: пассивті басқару режимі және ішінара көмекші режим. Пассивті және ішінара көмекші режим арасындағы жалғыз айырмашылық-бұл пациенттің қатысуы болып табылады. Сондықтан, егер емделуші қатыспаған болса, онда бұл екі режим де ешқандай айырмашылықсыз бірдей болады.

#### Пассивті бақылау.

Экзоскелетті басқарудың ең оңай жолы - оның қозғалысын позициялық кері бақылауды қолдана отырып, тірек траектория бойымен қатаң бақылау. Жүйке-бұлшықетті оңалту үшін бұл әдіс процестің ерте кезеңдерінде пайдаланылады, өйткені, бұл уақытта зақымдалған бөлік жауап бермейді, және ол жасай алатын жалғыз қозғалыс пассивті болып табылады, яғни экзоскелеттің көмегімен болып табылады. Бұл кері байланысты басқару жүйесін одан да маңызды етеді, сондықтан бұл жүйені қолданушыға зиян тигізбеуі үшін дұрыс тексеріп шығу керек. Мәселені шешу ретінде біз серпімді белбеулерді немесе механикалық сақтандырғыштарды енгізе аламыз.

Пассивті траекторияны бақылауға әртүрлі әдістерді қолдана отырып қол жеткізуге болады. Осы әдістердің ең қарапайымы - берілген траектория бойымен күштің позициясын реттейтін пропорционалды кері байланысты қолдану болып табылады. Пассивті шағылыстыруды адамның екі қолын бір уақытта қолдауға арналған экзоскелетке қолдануға болады. Бұған сау адам бөлік қозғалысын синхронды пассивті еліктеу жатады. Бұл әдісте сау адам қолы негізгі иесі болып саналады, ал экзоскелет бағынышты болып саналады, яғни, экзоскелет сау қолды имитациялау арқылы сал болған бөлікті оңалтып, бірден-бір уақыт өткен соң, қолды тәуелсіз ұстай алуға мүмкіндік береді.

## 2.2 Тузету режимі

Бұл басқару әдісі пайдаланушы берілген қозғалысты дұрыс орындамаса қолданылады, яғни қол қозғалысын түзетеді.

### Туннелдеу

Туннелдеу экзоскелет бөліктері үшін виртуалды арналарды құруды қамтиды, бұл арналарда субъект қозғалады. Осы арналар жұмысы өте қарапайым. Егер, пациент осы арналарды тастап кетсе, кіріс бақылауы оларды арнаға қайтадан аударады. Әдіс бірнеше дені сау және еңбекке жарамсыз адамдарға бағаланды. Нәтижелері осы бақылау парадигмасының терапияны қамтамасыз етудегі маңыздылығын көрсетті [10]. Мұндай тәсіл жүйке-бұлшықет дисфункциясын қалпына келтіру үшін қолданылды.

## 2.3 Белсендіру және энергия берілісі

Экзоскелет берілісі үшін тиісті айналатын момент қажет. Оны іске қосу үшін үш негізгі жетек бар: электр қозғалтқыштары, гидравликалық, пневматикалық және желілік жетектер. Экзоскелет құрылымын құрастырғанда атқарушы жетектерді таңдау маңызды, өйткені ол құрылымның салмағын арттырады, бірақ та бұл да мақсатты қолдануға байланысты тандалады. Осылайша, салмаққа қатынасы жоғары және нақты қозғалыспен жоғары момент жасай алатын жетекті таңдау өте маңызды.

Электр жетектері көбінесе электр энергиясын жинақтаудың қарапайым тәсіліне байланысты қолданылады және олар қозғалысқа арналған алдыңғы қатарлы бақылаудың көмегімен үлкен бақылауды қамтамасыз етуге қабілетті.

Бірнеше зерттеушілер [11] электр жетектері пневматикалық жетектер сияқты маңызды деп санайды. Пневматикалық жетектерді оңалту құралдарының бөлігі ретінде пайдалану тым қауіпті деп болжалайды. Қалай болғанда да, пневматикалық жетектердің өте жоғары қуаты, қуат көзінің ауырлығын елемеу есебінен қол жеткізіледі. Иілгіш компонентті жетекті құрылғыға қосу, электр қозғалтқыштарының жоғары кедергісін төмендетуі мүмкін. Алайда, бұл принцип әрдайым дұрыс жұмыс атқармайды, себебі серіппеде сақталған серпімді энергия кенеттен соққы немесе құрылғымен дұрыс жұмыс істеу кезінде босатылуы мүмкін.

Гидравликалық жетектер гидравликалық қысыммен қозғалады. Олардың айналу моменті электрлік және пневматикалық жетектерден қарағанда жоғары. Бірақ жүйе өзі салыстырмалы күрделі болып келеді, бірден бір себеп жетектің бөліктерін орналастыру үшін көп орын керек. Нарықта қол жетімді гидравликалық жүйелер ауыр; сондықтан оңалту үшін робототехникада тек арнайы әзірленген гидравликалық жүйелер қолданылады. Оның жоғары қуатты қамтамасыз ету қабілетіне байланысты кейбір зерттеулершілер жұмыстарында гидравликалық жетекті қарастырды.

Пневматикалық жетектер туралы жазатын болсақ, бұл құрылғылар қысылған ауа көмегімен жүзеге асырылады. Бұл құрылғыларды қоректендіру үшін арнайы компрессорлар немесе сығылған ауасы бар контейнерлер қажет. Олар электрлік қозғалтқыштарға қарағанда төмен қарсылыққа ие және салмағы аз болып келеді. Құрылғының техникалық қызметтері төмен және оны пациенттердің қауіпсіздігіне зиян келтірместен тоқтатуға болады. Сонымен қатар, олар қауіпсіз және ылғалды ортаға аз сезімтал. Бұл құрылғылардың ең үлкен кемшілігі олардың шектеулі дәлдігі мен ұқыптылығы болып табылады.

Осы себепті пневматикалық жетектерді қолданатын экзоскелеттердің саны айтарлықтай шектеулі. Пневматикалық жүйе дұрыс қысымды талап етеді, сондықтан пневматикалық жетектерді қолданатын экзоскелеттер негізінен тұрақты платформалар. Кейбір жағдайларда пайдаланушылар үшін қосымша бөлшектерді орнату қажеттілігі туындайды.

Жетектердің барлық түрлері өз артықшылықтары мен кемшіліктеріне ие. Осы жүйелердің комбинациясын пайдаланатын бірнеше жүйелерде бар.

## 2.4 Жоғарғы бөлік экзоскелеттер дамуындағы кедергі болатын мәселелер

Экзоскелет технологиясы медициналық оңалту саласында өзінің маңыздылығын дәлелдеді. Дегенмен, назар аударуды талап ететін көптеген мәселелер мен ашық зерттеу қиындықтары бар. Бұл бөлімде жоғарғы бөлік экзоскелеттерін әзірлеу кезіндегі проблемалар қарастырылады.

### 2.4.1 Кинематикалық үйлесімділігі

Экзоскелеттің конструкциясы пайдаланушының ауыспалы антропоморфтық параметрлерімен кинематикалық үйлесімді болуы тиіс. Экзоскелет пен анатомиялық буындар арасындағы дұрыс түзету әлі де кейбір проблема болып табылады. Атап айтқанда, иық пен білектің буындарын қолдайтын экзоскелет механизмі кинематикалық сфералық буын болуы керек. Құрылғы иық пен білектің нақты қозғалысын қайталау қажет, олар жылжу мәселелерін еңсеруге және конструкцияның биомеханикалық үйлесімділігін қамтамасыз етуге көмектеседі. Бұл мәселені шешу үшін бірнеше зерттеушілер иық пен білектің қозғалысын үш еркіндік дәрежесімен қайталауға арналған сфералық тетіктерді ұсынды, бірақ олардың көпшілігі иық пен білекті шар топ топсасы ретінде қарады. Қарастырылған ой иық және білек буыны үшін жылдам

айналу орталығының әсерін икемдей алатын механизмді жобалау кезінде оңтайлы шешімді қамтамасыз ете алмайтынын көреміз.

#### 2.4.2 Қолайсыздық және орын ауыстыру

Тасымалдап жүретін экзоскелеттердің жайлылық деңгейін сандық анықтау қажет, бірақ әзірге қол жетімді стандарттар жоқ, бұл ең үлкен проблемалардың бірі болып табылады. Мінсіз жағдайда физиологиялық буындар экзоскелетпен жақсы туралануы керек. Алайда, мұндай туралау әсіресе иық, білек және үлкен саусақтар үшін жетуге қиын. Физиологиялық буындар әдеттегі механикалық буындар ретінде емес; керісінше, олар өздерінің күрделі құрылымдарымен бірегей. Айналымы қосылыс осінің нәтижесінде қозғалыс процесінде өз орнын өзгерту үрдісі бар. Көптеген зерттеушілер бұл мәселені мұқият қарап, қолдың құрылысын зерттей отырып шешкісі келді. Қазіргі уақытта әдебиетте кездесетін иық пен шынтақтың қозғалысын қолдайтын белсенді экзоскелеттердің көпшілігі қуаттың салмағына жоғары қатынасына байланысты тасымалданатын болып табылмайды. Осылайша, қолда бар жетектер арқылы белсенді жоғарғы бөлік экзоскелетін жобалау қиынға соғады.

#### 2.4.3 Қабылдау және бағалау

Қабылдау және бағалау экзоскелеттің роботталған жүйесін әзірлеу үшін маңызды сипаттамалар болып табылады. Төменгі деңгейдегі проприоцептивті датчиктер кері байланысты басқару арқылы роботталған экзоскелеттің (мысалы, буындардың жағдайы, жылдамдығы, үдеуі және қозғалтқыштың айналу сәті) күйін және физикалық қасиеттерін бағалау үшін пайдаланылады. Қазіргі уақытта біріктірілген проприоцептивті сенсорлық модульдер нарықта кеңінен қол жетімді. Олар электр жетектерінің барлық түрлеріне арналған және роботтың қасиеттерін дұрыс бағалай алады. Жоғары деңгейде экстероцептивті датчиктер алынған мәліметті интерпретациялау міндеттеріне бағыттау үшін қолданылады және сенсорлық ақпаратты жоспарлауды жеңілдету үшін мүмкіндік береді. Көптеген экзоскелеттер, бірақ барлығы емес экстероцептивті датчиктер қолданады, ал мысалы күш экзоскелеттері жүктеме, ЭМГ және ЭЭГ датчиктерін қолданады. Бірқатар зерттеулер экзоскелетті басқару үшін әртүрлі қол қозғалыстарын бағалау үшін күшке сезімтал датчиктерді (FSR) қолданады. FSR және жүктеме датчиктерін қоса алғанда, күш датчиктері қол мен экзоскелеттің арасындағы байланыстың барлық ауданы бойынша өзара әрекеттесу қысымын өлшеу үшін пайдаланылады.

### 3 Медициналық экзоскелет құрастыру

#### 3.1 Қимыл жүйесінің бұзылыстарын қалпына келтірудің негіздері

Жеткілікті және тұрақты физиологиялық ақаулардың жиі кездесетін себептері, мысалы, моториканың шектеулілігі негізінен неврологиялық аурулар немесе жарақаттар болып табылады. Бұл жағдайда әлемде тұрақты мүгедектіктің жиі кездесетін себептерінің бірі инсульт болып табылады. Инсульттан аман қалған адамдардың тек 40% ғана қалыпты жұмысқа оралуы мүмкін, ал үштен бірі үнемі қолдау мен күтімге мәжбүр болады. Сондықтан оңалтудың негізгі мақсаты зардап шеккен адамдарды оңтайлы жолмен қалыпты өмірге қайта қосу болып табылады.

Жалпы, оңалту өз мақсаттарына екі тәсілмен қол жеткізе алады: қозғалыс дисфункциясын өтеу жолымен немесе қимыл функцияларын қалпына келтіру жолымен болып табылады. Мұнда экзоскелет немесе ортез беретін күш қозғалыс қозғалыс дағдыларын қалпына келтіру үшін қолданылады. Осылайша, қозғалыс тапшылығы бар қолдар – орта сал ауруы немесе толық сал ауруы-белсенді түрде қолдау көрсетіледі (мысалы, гравитациялық компенсация көмегімен).

Қимыл функциясын қалпына келтіру немесе жақсарту үшін ертерек және қарқынды қалпына келтіру терапиясын жүргізу ұсынылады [15]. Алайда, бұл шекті фактор бола алатын қызметкерлерді жоғары және тиімді орналастыруды қажет етеді. Бұл тұрғыда экзоскелетті терапияны қолданған жөн. Сал ауруының негізгі мәселесі-аяқ-қолды жылжыту үшін қажетті күш болмауы. Бұл ауру бұлшықет үйлесімін бұзады. Бұлшықеттің ұзақ қысқарту үрдісі болады және бұл адам ағзасына зиянды әсер етеді. Қосымша жазатын болсақ, сал ауруына шалдыққан бұлшықеттер зақымданбаған бұлшықпен салыстырғанда әлдеқайда жылдам шаршайды. Қозғалыс арқылы ми жаппай функционалдық қайта құру арқасында жаңа жағдайларға бейімделе алады. Бұл құбылыс нейронды икемділік ретінде белгілі және жаңа жүйке байланыстарын қалыптастыра отырып, қозғалысқа жауапты ми бөлігін қайта құру қабілеттілігімен сипатталады. Дегенмен, ми бөлігін өзін қайта құрылымдау қабілеті шектеулі, өйткені ол барлық аймақтарда иілімді емес. Сондықтан да, ұзақ мерзімді бағалау оңалту табысының көлемін көрсетеді.

Әр түрлі ауруларда роботты құрылғымен қалпына келтіру мүмкіндігі өте жоғары [17]. Осы мақсатта экзоскелеттік технологияны оңалту үшін қолдану өте қолайлы және ұзақ уақыт қалпына келтіру қажет болған кезде экономикалық тиімді. Бұл, мысалы, созылмалы немесе созылмалы прогрессивті неврологиялық ауруларға қатысты, онда аурудың белгілері мен салдарының тез дамуына тұрақты жаттығулар алдын алуға болады. Инсульт - бұл қимылдың, сенсорлық және танымдық функциялардың кенеттен бұзылуы болып табылады. Функционалды шектеулер жарақаттың орны мен ауырлығына байланысты өзгеруі мүмкін.

Инсульттен кейінгі алғашқы 3-18 күнде белгілі бір нейромедиаторлар табылуы мүмкін. Бұл заттар нейрондық икемділік үшін маңызды деп санайды.

Сондықтан алғашқы апталар - бұл мидың оңтайлы функционалды және құрылымдық қайта құрылуын қамтамасыз ету үшін қолайлы уақыт. Сондықтан бұзылған функцияларды ертерек белсенді оқыту, функционалды қалпына келтіруге әкеледі. Алайда insultтан зардап шеккендердің шамамен 35% -ы ұзақ уақыт аралығында аяғы сал болып, 65% зардап шеккен қолды күнделікті іс-әрекетте қолдана алмайды. Аурудың жоғары деңгейіне байланысты науқастар көбінесе insultтан кейін депрессия деп аталатын аурумен ауырады. Нәтижесінде психологиялық проблемалар сәтті қимыл терапиясына кедергі келтіруі мүмкін, өйткені пациенттің уәждемесі мен ынтымақтастығы шешуші рөл атқарады.

Сондықтан insultтен немесе басқа неврологиялық аурулардан кейінгі заманауи қалпына келтіру әрдайым науқастың жеке жағдайына бағытталған.

Науқаспен бірге мамандандырылған күнделікті және (қажет болған жағдайда) еңбекке байланысты терапия мақсаттары анықталады. Емдеу тобы тиісті емдеу тұжырымдамасын таңдайды. Роботтық жүйеге ауысуға болатын қолды сауықтырудың әртүрлі емдік шараларына қайталанатын жаттығулар, бір жақты және екі жақты жаттығулар, бағытталған жаттығулар және айна терапиясы жатады.

Сонымен қатар, терапевтік шараларды түзету немесе жаңа терапевтік мақсаттарды анықтау үшін, емделу кезінде сәтті және сәтсіз моменттер анықталады және бағаланады. Осылайша, бағалау процедуралары қимыл жүйесін қалпына келтіруде маңызды рөл атқарады. Бағалау функцияларымен жабдықталған роботты жүйелер емдеу сапасына маңызды үлес қоса алады, өйткені олар емдеу нәтижелеріне қарапайым және тұрақты шолу жасай алады.

Терапияның белгіленген шаралары мен бағалау әдістерін қайта қарап, роботталған терапия жүйесі оңалту процесіне біріктірілуі мүмкін.

### 3.2 Қалпына келтіру жүйелері

Медициналық оңалтуда қолдануға арналған экзоскелеттік немесе ортопедиялық жүйелер дәлелді оқыту принциптерін қолдауы керек. Сонымен қатар, бұл жүйелер оңалту режимдеріне еніп, дәрігер пен емделушіге пайдалы көмек көрсетуі керек. Оңалту робототехникасының негізгі мақсаттары негізінен емдеу әдістерінің тиімділігін, дәлдігін жоғарылатумен байланысты [19]. Жалпы мақсаттардан басқа нақты мақсаттар тұжырымдалуы керек. Бұл мақсаттар:

- пациентке тән және табиғи қозғалыс еліктеуі,
- сәйкестікті бақылаудың жоғары дәрежесі
- өз бетінше қимылдарды қолдау (бұл мидың моторлы оқыту процестеріне ықпал етеді),
- емдеу прогресінің мұқият мониторингі,
- ерте қарқынды жаттығу.

### 3.3 Ортез-экзоскелет технологиясының артықшылықтары

Ортез-экзоскелеттің қасиеттері оңалтуда пайдалану үшін бірқатар артықшылықтарды ұсынады [18]. Артықшылықтары келесіде:

- Жақсы тұрақтану және қолды басқару: ортез-экзоскелет әр түрлі нүктелерде емделушімен байланысты болуы мүмкін. Осы спецификалық құрылыммен пациенттің қолы әр буында қозғалады және тұрақтанады.

- гравитациялық өтемақы: механикалық конструкция және адамның қолдары әртүрлі механизмдермен өтелуі мүмкін.

- тактильді функцияларды пациенттің қолына белгілі бір нүктелерде беру. Тактильді кері байланыстың мүмкін түрлері - бұл кинестетикалық кері байланыс (күшпен кері байланыс) және тактильді кері байланыс (мысалы, діріл).

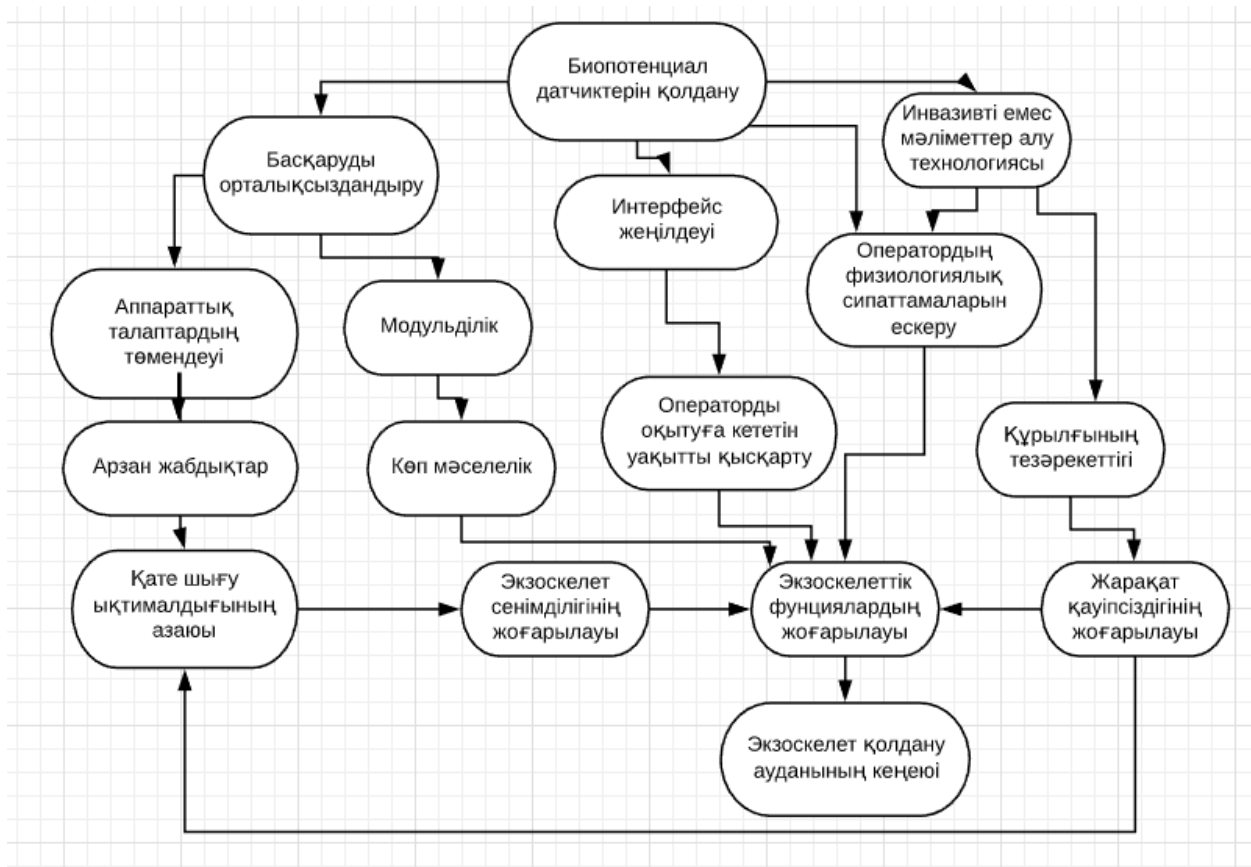
- Модульділік құрылыс: сегменттік құрылымы бар экзоскелет пациенттің қажеттіліктері мен қажеттіліктеріне сәйкес келетін жүйені құруға мүмкіндік береді. Бұл экзоскелет тек қана зардап шеккен буындарды қосады деген мағынада болып табылады. «Мүмкіндігіне қарай, мүмкіндігінше аз» ұранына сүйене отырып, әртүрлі жаттығуларды өткізуге және шығындарды азайтуға мүмкіндік береді.

- Күшті күшейту: еркіндік пен ұтқырлықтың белсенді деңгейлері арқасында ортез-экзоскелетті күшейткіш ретінде қолданыла алады. Осы опцияны қолдана отырып, күнделікті әрекеттерді қолдайтын және жаттығу жүйесімен бір уақытта жұмыс істейтін жүйені құруға болады.

### 3.4 Экзоскелеттік жүйені жобалаудағы негізгі міндеттер

Бұл кезеңде келесі міндеттер шешілді: басқару жүйесінің элементтерін синтездеу, оператордың биопотенциалдарын қолдана отырып, экзоскелеттік жүйенің жылдамдығын арттыру және оператордың бұлшықет топтарының биоэлектрлік белсенділігіне байланысты экзоскелеттік жұмыс режимдерін ауыстыру арқылы басқару алгоритмдерін құру міндеті болып табылады. Жұмыста бұлшықет топтарының белсенділігін есепке алу үшін электромиографияны қолдану мен адамның тірек-қимыл аппараты жұмысын басқару кезіндегі функционалды мүмкіндіктерін кеңейту арасындағы себеп-салдарлық байланыс анықталды. Экзоскелеттік құрылғыны басқару үшін биопотенциалды датчиктерді пайдалану оператор мен экзоскелет арасындағы интерфейсті жеңілдетеді және оператордың физиологиялық ерекшеліктерін ескеруге мүмкіндік беретін инвазивті емес мәліметтерді алу технологиясын пайдалануға мүмкіндік береді [13]. Әр бұлшықет топтары, биопотенциал датчиктерімен жабдықталған, экзоскелет бөлімдерінің (звено) қозғалуына жауапты, осылайша, ол басқаруды орталықсыздандыруға мүмкіндік береді. Бұл әрекет аппараттық құралдарға деген сұраныстың төмендеуіне және аппараттық шығындардың төмендеуіне әкеледі. Аппараттық құралдарды ұйымдастырудың күрделілігін азайту төтенше жағдайдың төмендеуіне алып келеді, бұл экзоскелеттік жүйенің сенімділігін арттырады. Орталықсыздандыру, сонымен қатар, басқару бағдарламасын қайта баптамай-ақ, экзоскелет жүйесінде модульділікті қолдануға мүмкіндік береді, ал экзоскелеттік бөліктердің әртүрлі

мамандандырылған модульдері экзоскелеттік құрылғыларды қолдану аясын кеңейтеді. Оператор мен экзоскелет арасындағы интерфейсті жеңілдету, операторды оқытуға кететін уақыттың қысқаруына әкеледі. Адамның бұлшық ет топтарының биопотенциалы туралы ақпараттарды алудың инвазивті емес технологиясы толық бұлшықет жиырылу сәтіне дейін бақылау сигналының өзгерісін анықтауға мүмкіндік береді. Бұл экзоскелет жүйесін басқару элементтеріне әсер ететін күшке негізделген бақылауға қарағанда айтарлықтай артықшылыққа ие және рефлекторлық қозғалыс жағдайында, басқару жүйелерінің жауап беру жылдамдығына байланысты жарақат алу қаупін азайтады.



2.1 сурет - Бұлшықет топтарының белсенділігін есепке алу үшін электромиографияны қолдану және адамның тірек-қимыл аппараты жұмысын басқару кезіндегі адамның функционалдығын кеңейту арасындағы себеп-салдарлық байланыстар

Жүргізілген талдау негізінде оператордың биопотенциалдары туралы ақпаратты өңдеуге негізделген экзоскелетті құрылғыны басқару жүйесінің жұмысына тән ерекшеліктер анықталды:

Басқару жүйесін орталықсыздандыру және құрылымдық тораптарды жеке басқарылатын модульдерге бөлу қажеттілігі. Басқаруды орталықсыздандыру басқару жүйесінің есептеуіш қуатына қойылатын талаптарды төмендетеді, сондай-ақ әртүрлі міндеттерді орындау үшін конструкцияны жаңа

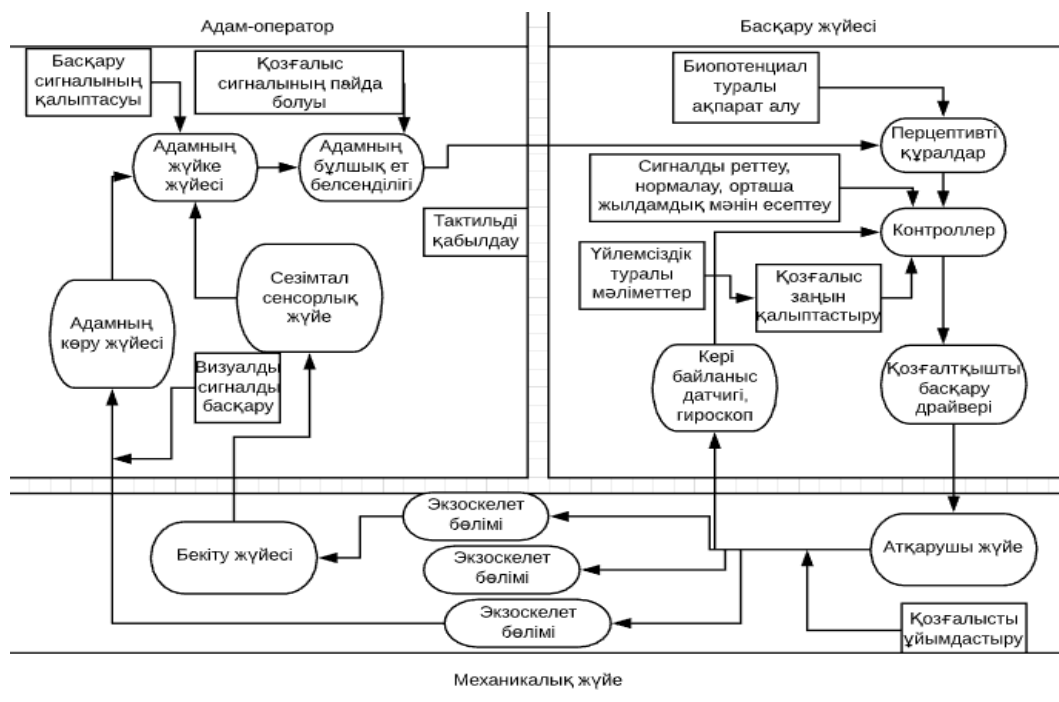


конфигурациялауға жүргізуге мүмкіндік береді. Аппараттық құралдарға қойылатын талаптардың азаюы жабдық шығындарының төмендеуіне әкеледі.

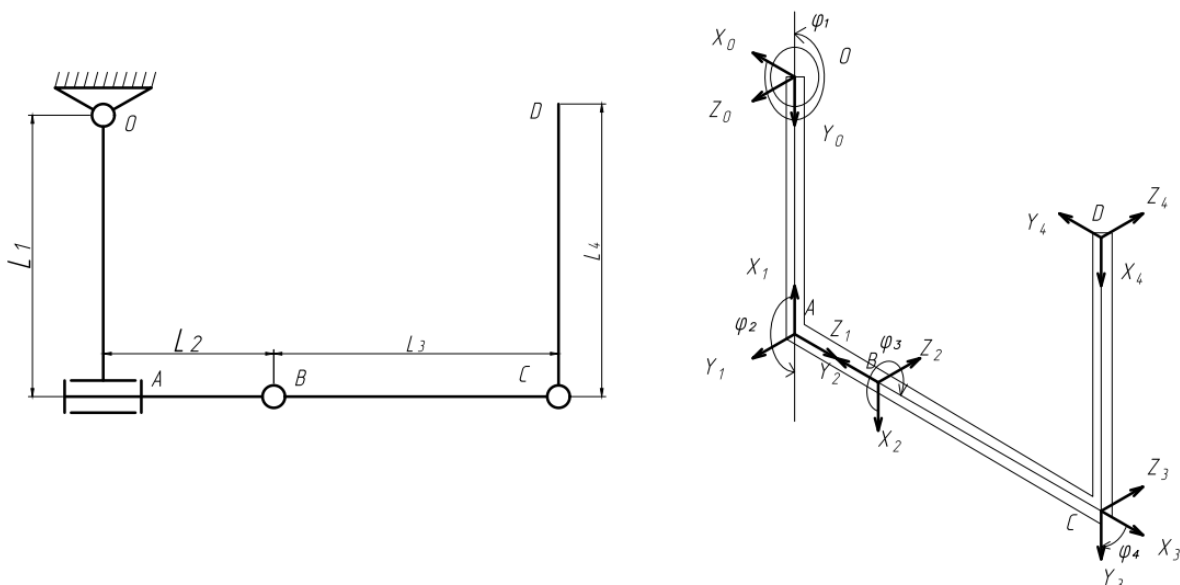
Операторды оқытудың жеңілдеуі. Бұлшықет топтарының белсенділік сигналдарын өңдеуге негізделген басқарудың жаңа алгоритмдерін қолдану, оператор қозғалыстарының экзоскелеттік құрылғы бөлімдерінің қозғалысына сәйкес келуіне әкеледі, ол адам мен мехатрон жүйесі арасындағы өзара әрекеттесу интерфейсін жеңілдетуге мүмкіндік береді. Сондай-ақ жүйенің міндеттерін орындау үшін қайта баптау және жаңа конфигурациялау мәселесін қарастыру қажет. Ол жүйенің параметрлерін өзгерту арқылы жеткізіледі.

Экзоскелет жүйесінің сенімділігін арттыру. Жобалау кезіндегі мехатрондық көзқарас, құрылым бөлігі ретінде заманауи материалдар қолданады. Сәйкесінше ол қателіктер ықтималдығын азайтады және де экзоскелет жүйесінің сенімділігін арттыруына жеткізеді. Жүйенің сенімді болуы, жарақат алу қаупін азайтумен қатар экзоскелеттің қолдану аясын кеңейтеді. Нәтижесінде, жүйе көптеген мәселелерді шешу үшін адамның функционалды мүмкіндігін жоғарылатады.

Экзоскелеттік жүйенің функционалды моделі (2.2-сурет) ұсынылған, ол жүйенің элементтері арасындағы функционалды байланыстарды көрсетеді және электромиографияны қолдана отырып, экзоскелеттік құрылғыдағы басқару жүйесін ұйымдастыру туралы түсінік береді.



2.2 сурет - Экзоскелеттік құрылғының функционалды моделі

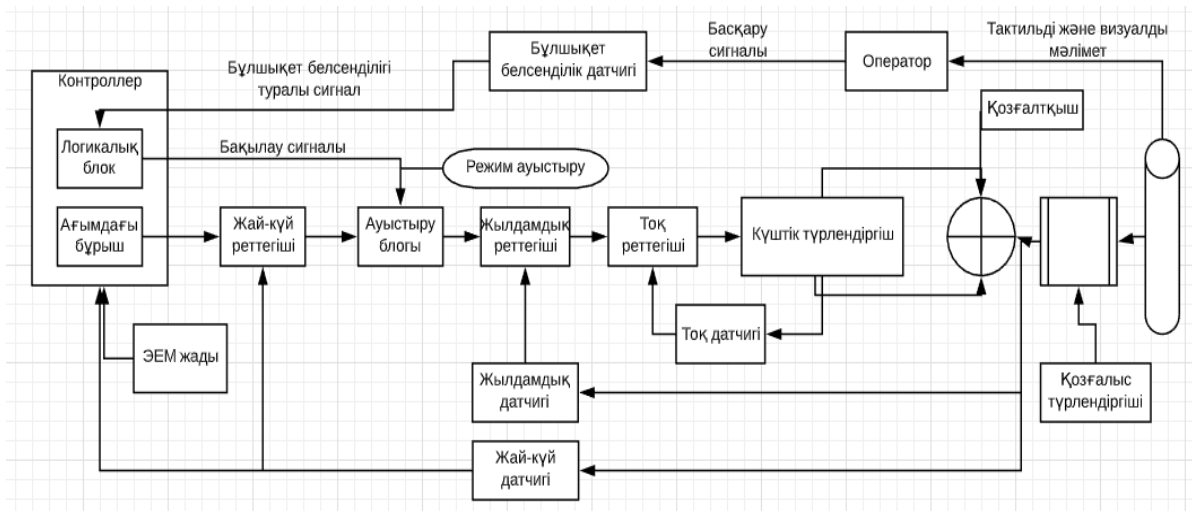


2.3 сурет - Экзоскелеттік құрылғының кинематикалық схемасы

### 3.5 Экзоскелет құрылғыны басқару режимдері.

Инвазивті емес жолмен алынған оператордың бұлшықет топтарының қызметі туралы ақпаратқа негізделген жүйенің басқару режимдерін құру схемасы ұсынылған. Басқару жүйесі бағынышты реттеу контурлар жүйесін білдіретін болады, оның құрылымдық схемасы 2.4 суретте көрсетілген. Бұл құрылым иерархиялық болып табылады. Ішкі контур – тоқты реттеу контуры, ротор орамдарында ағады. Тоқты реттеудің тұйықталған контуры қозғалтқыш білігінің айналу жылдамдығын реттеу контурының құрамына кіреді.

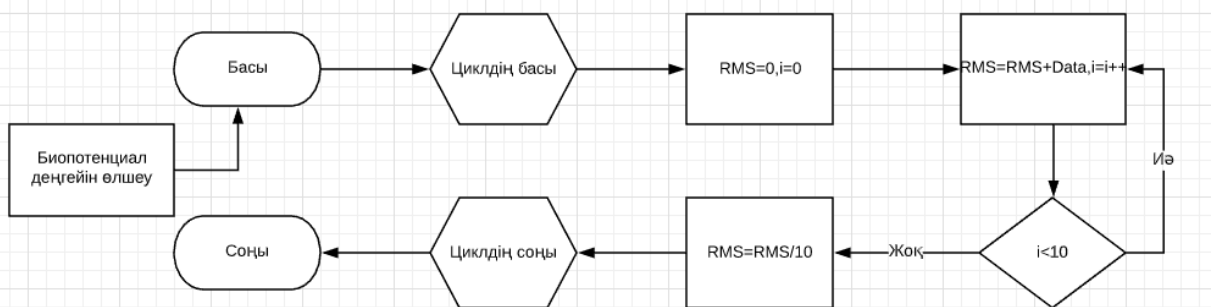
Ротор жылдамдығын реттеу контурының кірісіне басқарушы электрондық есептеуіш машинада қалыптасатын әсер беріледі және қозғалтқыш білігінің қажетті айналу жылдамдығы туралы ақпарат алады. Бұл ретте қозғалыстың орындалуын бақылау операторына жүктелген, ол көру арнасы бойынша пәрменнің дұрыс орындалуын анықтай алады. Ағымдағы жылдамдықтың өзгеруі контроллерде берілген потенциалдың өңделген сигналымен туындайтын басқару сигналы арқылы сәйкес жүреді. 2.6 суретте көрсетілген құрылымнан, экзоскелеттің шынтақ модуліне арналған басқару жүйесінің жұмыс істеу принципін көруге болады. Басқару сигналы болмаса, жүйе шынтақ жетегінің білігіне бекітілген бұрыштық энкодердің ағымдағы позиция бақылау режимінде жұмыс істейді. Басқару сұлбасының бағынышты реттеудің үш контурлық жүйесінен екі контурлық жүйеге өзгеруі оператор бұлшық етіндегі кернеу деңгейінің асып кетуін білдіретін бақылау сигналы пайда болғаннан кейін жүргізіледі, бұл өз кезегінде экзоскелет буынының салыстырмалы қозғалысының қажетті жылдамдығын және ағымдағы бұрыштың өзгеруін анықтайды. Екі контурлы реттеу жүйесін таңдау, оператор үшін буындардың қозғалыс жылдамдығын басқару қолайлылығына байланысты болып табылады.



2.4 сурет - Бағынышты реттеу контуры жүйесінің құрылымы

Құрылғының жұмыс күйі іске қосу түймесін басу арқылы жүзеге асырылады. Жұмыс режимін іске қосқаннан кейін басқару жүйесі құрылғының ағымдағы жағдайы туралы мәліметтерді жинауы керек. Ағымдағы бұрыш туралы ақпарат кейіннен пайдалану үшін басқарушы ЭЕМ жадына жазылады. Сондай-ақ конструкцияның шектік жай-күйінің болуын анықтау қажет, ол шекті қосқыштардан ақпаратты оқу арқылы іске асады. Ажыратқыштар шынтак буынының иық буынына қатысты мүмкін болатын позицияларында орналасқан. Осы соңғы ажыратқыштар авариялық жағдайды болдырмау және оператор үшін жарақат қауіптілігін төмендету үшін біліктің айналу жылдамдығын белгілі бір бағытта бұғаттауды жүргізуі тиіс. Бұғаттаудың қалыпты жасауы, жұмыс жазықтығының кез келген бағытында буынды жылжытуға мүмкіндік береді. [14]

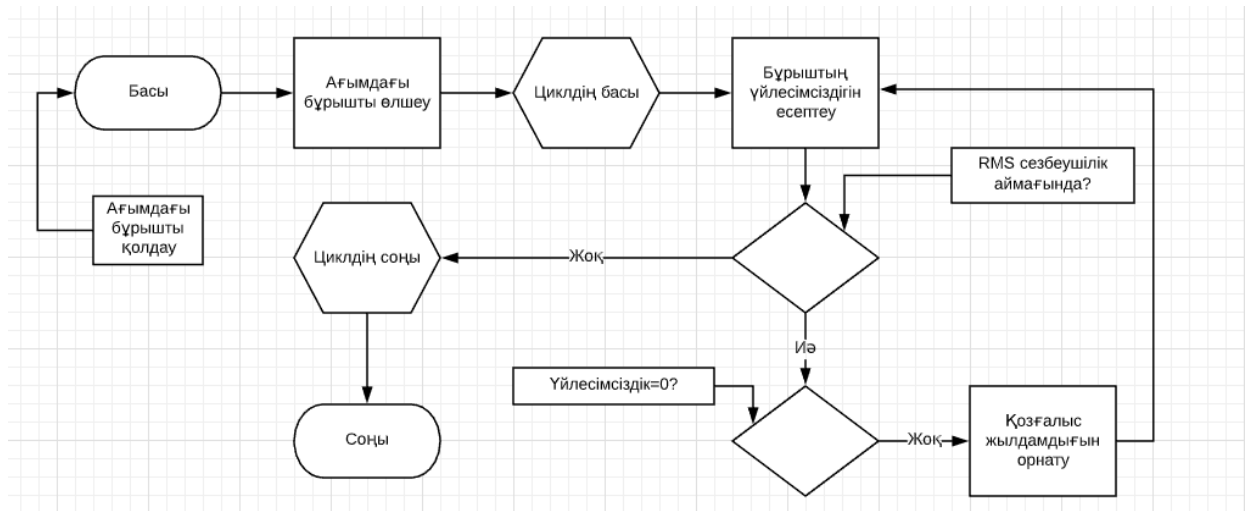
Бұлшықет топтарының белсенді аймағында орналасқан потенциалды датчиктер бұлшықет кернеуінің жалпы деңгейі туралы ақпарат береді.



2.5 сурет - Биопотенциал деңгейін өлшеуге арналған ішкі бағдарламаның алгоритм схемасы

Бұл деңгей оператордың иық бицепсі мен трицепсінің берілген потенциалының айырмашылығымен анықталады [16]. Жалпы кернеудің 10 такт бойынша орташа арифметикалық көрсеткіші есептеледі және оператор белсенділігінің ағымдағы жағдайы мәніне жазылады. (RMS) Бұл мән

эмпирикалық жолмен анықталатын сезімталдық шкаласымен салыстырылады. Адамның бұлшықет талшықтарының физиологиялық сипаттамасы мен жұмысының ерекшелігіне байланысты, шынтақ буынының иілу бұрышы осы иілу үшін қолданылатын бұлшықет кернеу деңгейіне әсер етеді. Осы аймаққа кіретін RMS мәні басқару жүйесінде ескерілмейді. Бұл жағдайда басқару жүйесі ағымдағы бұрышты ұстап тұруға ауысады (Сурет 2.6).



2.6 сурет - Ағымдағы бұрышты ұстап тұратын ішкі бағдарламаның алгоритм схемасы

Сонымен қатар бағдарламалық П-реттегіш іске асырылады. Бұл қажеттілік ағымдағы бұрыштың мәніне шектеулермен және соңғы ажыратқыштардың болуымен байланысты. П- реттеуіші бақылау жағдайын қайта реттеусіз іске асырады, яғни шеткі жағдайға жақын конфигурацияда бұрыштық ауытқу мәнінің рұқсат етілген шектен шығуымен ұштасқан авариялық жағдай болмау үшін қойылады. Сезбеушілік аймағынан тыс шығатын RMS мәні қозғалтқыш білігінің жағдайын бақылау режимінен шығуға мүмкіндік береді және буындардың салыстырмалы қозғалысының жылдамдығын қалыптастырады. Бұл ретте RMS мәні сезбеушілік аймағына түскен сәтке дейін бұрыштың ағымдағы мәнін тұрақты қайта жазу жүргізіледі. Режимдерді аудару үшін 2.4-суретте көрсетілген ауыстыру блогы жауап береді. Мұндай ауыстыру сыртқы күшке әсер етуге және экзоскелетті құрылғы буындарының қозғалыс жылдамдығын басқаруға мүмкіндік береді. Экзоскелеттің шынтақ буынындағы сабының тіректері бұл ретте операторға кері байланыста сезу элементтері болып табылады. Көру арнасы конструкцияның атқарушы элементтеріне берілген әсер етуін бақылауға мүмкіндік береді.

RMS бағалауы белгі бойынша жүргізіледі. Оң мән шынтақ буынының иілуіне жауап береді, ал теріс мән - жазылуына. Егер бұл ретте бағыттардың бірінде қозғалысты бұғаттау белсенді болса, онда бұғаттаушы аймақта сезімталдық шекарасының модулінен асып кеткен кезде, RMS сигналы қарама-қарсы әрекетті орындауға келген сәтке дейін ескерілмейді. Бұл жағдайда біліктің



## ҚОРЫТЫНДЫ

Жұмыста қойылған өзекті міндеттер әлемдік деңгейдегі зерттеушілердің науқастарды жедел оңалтуға арналған медициналық экзоскелет құрастыруда негізгі талаптарына жауап береді.

1. Медицина үшін маңызды экзоскелеттік құрылғыны басқару үшін электромиографияны қолдану арқылы адамның мүмкіндіктерін кеңейтуге арналған ғылыми-техникалық мәселе шешілді.

2. Экзоскелет құрылғысын басқаруда электромиографияны ақпараттық жүйесі ретінде қолданудың арқасында адамның мүмкіндіктері кеңейетіні анықталды.

3. Адамның биопотенциалдары туралы ақпаратты алу және өңдеу әдістерін ескере отырып, экзоскелет құрылғыны басқару жүйесінің функционалды моделі жасалды.

4. Құрылымның атқарушы элементтерінің динамикасын ескеретін экзоскелетті құрылғының кинематикалық схемасы берілді .

5. Оператордың бұлшықет топтарының электрлік белсенділігі туралы ақпаратты ескере отырып, экзоскелет буындарының қозғалысын басқару үшін қолданылатын басқару алгоритмдерінің кешені ұсынылған.

## ПАЙДАЛАНЫЛҖАН ӘДБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Helbok, R.; Schoenherr, G.; Spiegel, M.; Sojer, M.; Brenneis, C. Robot-assisted hand training (Amadeo) compared with conventional physiotherapy techniques in chronic ischemic stroke patients: A pilot study. In Proceedings of the DGNR, Bremen, Germany, 9–11 November 2010.
- 2 Pirondini, E.; Coscia, M.; Marcheschi, S.; Roas, G.; Salsedo, F.; Frisoli, A.; Bergamasco, M.; Micera, S. Evaluation of a new exoskeleton for upper limb post-stroke neuro-rehabilitation: Preliminary results. In *Replace, Repair, Restore, Relieve—Bridging Clinical and Engineering Solutions in Neurorehabilitation*; Springer: Berlin, Germany, 2014; pp. 637–645.
- 3 Van der Heide, L.A.; van Nihuijs, B.; Bergsma, A.; Gelderblom, G.J.; van der Pijl, D.J.; de Witte, L. An overview and categorization of dynamic arm supports for people with decreased arm function. *Prosthetics Orthot. Int.* 2014, 38, 4. doi:10.1177/0309364613498538
- 4 Hsieh, H.C.; Chen, D.F.; Chien, L.; Lan, C.C. Design of a Parallel Actuated Exoskeleton for Adaptive and Safe Robotic Shoulder Rehabilitation. *IEEE/ASME Trans. Mechatron.* 2017, 22, 2034–2045.
- 5 Sarac, M.; Solazzi, M.; Leonardis, D.; Sotgiu, E.; Bergamasco, M.; Frisoli, A. Design of an underactuated hand exoskeleton with joint estimation. In *Advances in Italian Mechanism Science*; Springer: Berlin, Germany, 2017; pp. 97–105.
- 6 Hunt, J.; Lee, H.; Artemiadis, P. A novel shoulder exoskeleton robot using parallel actuation and a passive slip interface. *J. Mech. Robot.* 2017, 9, 011002
- 7 Ripel, T.; Krejsa, J.; Hrbacek, J.; Cizmar, I. Active elbow orthosis. *Int. J. Adv. Robot. Syst.* 2014, 11, 143.
- 8 Lambelet, C.; Lyu, M.; Woolley, D.; Gassert, R.; Wenderoth, N. The eWrist—A wearable wrist exoskeleton with sEMG-based force control for stroke rehabilitation. In Proceedings of the 2017 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR), London, UK, 17–20 July 2017; pp. 726–733.
- 9 Abdallah, I.B.; Bouteraa, Y.; Rekik, C. Design and Development of 3D Printed Myoelectric Robotic Exoskeleton for Hand Rehabilitation. *Int. J. Smart Sens. Intell. Syst.* 2017, 10, 341.
- 10 Klamroth-Marganska, V.; Blanco, J.; Campen, K.; Curt, A.; Dietz, V.; Ettl, T.; Felder, M.; Fellinghauer, B.; Guidali, M.; Kollmar, A.; et al. Three-dimensional, task-specific robot therapy of the arm after stroke: A multicentre, parallel-group randomised trial. *Lancet Neurol.* 2014, 13, 159–166. doi:10.1016/S1474-4422(13)70305-3.
- 11 Fleischer, C.; Kondak, K.; Wege, A.; Kossyk, I. Research on Exoskeletons at the TU Berlin. In *Advances in Robotics Research*; Springer: Berlin, Germany, 2009; pp. 335–346.
- 12 Deaton, E. S. Froelicher, L. H. Wu, C. Ho, K. Shishani, and T. Jaarsma, “The global burden of cardiovascular disease,” *European Journal of Cardiovascular Nursing*, vol. 10, supplement 2, pp. S5–S13, 2011

- 13 Гурфинкель В.С. Биоэлектрическое управление. – М., 2012. – 248 с.
- 14 Каплан А.Я. Нейрофизиологические основания и практические реализации технологии мозг-машинных интерфейсов в неврологической реабилитации. Физиология человека 2016; 42(1): 118–127. Kaplan A.Ya. Neurophysiological foundations and practical realizations of the brain-machine interfaces the technology in neurological rehabilitation. Fiziologiya cheloveka 2016; 42(1): 118–127
- 15 J. H. Cauraugh and J. J. Summers, “Neural plasticity and bilateral movements: a rehabilitation approach for chronic stroke,” *Progress in Neurobiology*, vol. 75, no. 5, pp. 309–320, 2005.
- 16 J. Stein, K. Narendran, J. McBean, K. Krebs, and R. Hughes, “Electromyography-controlled exoskeletal upper-limb-powered orthosis for exercise training after stroke,” *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 86, no. 4, pp. 255–261, 2007.
- 17 S. Hesse, C. Werner, and J. Brocke, “Use of machines and robots in neuro rehabilitation expectations of the clinics,” *Orthopädie-Technik*, vol. 2, pp. 74–77, 2009.
- 18 L. Pignolo, “Robotics in neuro-rehabilitation,” *Journal of Rehabilitation Medicine*, vol. 41, no. 12, pp. 955–960, 2009.
- 19 B. R. Brewer, S. K. McDowell, and L. C. Worthen-Chaudhari, “Poststroke upper extremity rehabilitation: a review of robotic systems and clinical results,” *Topics in Stroke Rehabilitation*, vol. 14, no. 6, pp. 22–44, 2007.
- 20 Яцун С.М., Яцун А.С., Турлапов Р.Н. Разработка и исследование реабилитационного устройства для механотерапии нижних конечностей // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 12. – С. 1909-1911.



